

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Michel, Frank

Großflächige numerische 2d-Modellierung auf Basis eines hochauflösenden Laserscanner-Gitters (1 m)

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103851>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Michel, Frank (2006): Großflächige numerische 2d-Modellierung auf Basis eines hochauflösenden Laserscanner-Gitters (1 m). In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Strömungssimulation im Wasserbau (Flow Simulation in Hydraulic Engineering). Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 32. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 517-524.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Großflächige numerische 2d-Modellierung auf Basis eines hochauflösenden Laserscanner-Gitters (1 m)

Frank Michel

In der zweiten Jahreshälfte 2005 wurde für das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft – mittlerweile Landesamt für Umwelt – eine interessante Verfahrensentwicklung aus Sicht der Hydraulik bzw. der mathematisch-numerischen Modellierung erfolgreich abgeschlossen: Die automatische Generierung und extreme Ausdünnung von 2d-Berechnungsnetzen aus hochauflösenden Laserscanner-Daten für größere Projektgebiete. Ziel ist – unter Beibehaltung einer vergleichbaren Datenqualität – die Ablösung des bisher in der Bayer. Wasserwirtschaftsverwaltung angewandten, jedoch kostenintensiven stereophotogrammetrischen Auswertverfahrens zur Bruchkantenerzeugung bzw. Netzgenerierung.

Laserscanning (-daten), 2d-Modellierung, Ausdünnung, Netzgenerierung, Rauheitsbelegung

1 Einleitung

Die heutigen 2d-Simulationsprogramme können bislang ohne Probleme für mehrere 100.000 Netzelemente bzw. –knoten Berechnungen durchführen. Bei einem üblichen Gitterabstand der hochauflösenden Laserscanner-Daten von 1 m kommt man aber ohne extreme Ausdünnung des Datensatzes bei größeren Projektgebieten zu keinem vernünftigen 2d-Berechnungsnetz.

Verfahren zur Ausdünnung von Laserscanner-Daten haben oft den Nachteil, dass sie sehr generalisiert ausdünnen, im einfachsten Fall wird einfach aus einem sehr dichten Gitter ein gröberes Gitter erstellt. Aber auch intelligentere, z. B. optische Verfahren, die aus den Rasterbildern eines DTM (Digital Terrain Model) stärker strukturierte Bereiche von weniger stark geneigten Flächen separieren und diese dann in Abstufungen oder Klassen ausdünnen, haben Nachteile. Meist werden lokal doch sehr viele Punkte benötigt, um Kleinststrukturen abzubilden (*BRIESE et. al., 2005*). Dabei wäre es notwendig, bruchkantenähnliche Objekte aus den Laserdaten zu generieren, um diese für die 2d-Gitternetze – ähnlich wie bei der photogrammetrischen Erfassung – mit einem Raster aus Punkten zu triangulieren.

Seit 2002 wurden mehrere Voruntersuchungen und Pilotstudien zum Thema Laserdaten und Ausdünnung am Bayer. LfW bzw. LfU durchgeführt. Nachdem die generelle Eignung moderner Laserscanner-Daten untersucht war (*OBERHAUSER & RIEGER, 2005*), wurde die Erstellung einer Software zur extremen Datenausdünnung und Netzgenerierung in Auftrag gegeben. Das neu entwickelte Verfahren soll bevorzugt auf Laserscanner-Daten mit einem Gitterabstand von 0,5 bis 2 m angewandt werden, wobei definierte Netzkriterien eingehalten werden müssen. Besonders wichtig für die Bildung von 2d-Berechnungsnetzen ist die Erhaltung von wesentlichen Strukturen der Geländetopographie (z. B. Dammkronen). Aber auch Parameter, welche die Netzgeometrie beschreiben und zu sehr homogenen, sog. glatten Berechnungsnetzen führen sollen, werden eingefordert:

- Die Geländeerfassung erfolgt mit einem maximalen, vorgegebenen Fehler
- Es erfolgt keine manuelle Erfassung von Bruchkanten (Integration vorhandener Bruchkanten ist aber möglich)
- Punkte können so vernetzt werden, dass überwiegend regelmäßige Polygone entstehen (Dreiecke, Vierecke)
- Die mittlere Punktmenge soll 10.000 (20.000 bei stark strukturiertem Gelände) je km² nicht überschreiten
- Der Datensatz muss direkt in hydrotechnische Simulationsprogramme einlesbar sein
- Die Winkel einzelner Elemente sollen $> 5^\circ$ und $< 160^\circ$ sein
- Die Anzahl der Elemente, die an einem Knoten zusammentreffen, soll kleiner/gleich 10 sein
- Der Größenunterschied benachbarter Elemente soll i. d. R. kleiner als 1 : 10 sein (kleinere Elementfläche zur größeren Elementfläche)

Eine Pilotstudie wurde an der Donau bei Donauwörth durchgeführt, wo ein Areal von 110 km² mit der Laserscanning-Methode (1m-Gitter) befliegen wurde. Es galt vor allem zu beweisen, dass diese hochaufgelösten Daten extrem ausgedünnt werden können und dass gleichzeitig aus diesem Datensatz ein ausreichend genaues Berechnungsnetz für die großflächige 2d-Simulation erstellt werden kann.

2 Beschreibung der Verfahrensschritte zur Ausdünnung

Die Vorgehensweise zur Ausdünnung der Originaldaten erfolgt weitgehend automatisiert. Es können im Prinzip beliebig große Datenmengen im ASCII-Format eingelesen werden. Bei der Ausdünnung der Donau-Projektdaten konnte die Bearbeitung des gesamten Gebietes in einem Arbeitsschritt geschehen, wobei eine Prüfung des Datensatzes vorher durch das Bayer. Landesamt für Vermessung und Geoinformation (LVG) erfolgte.

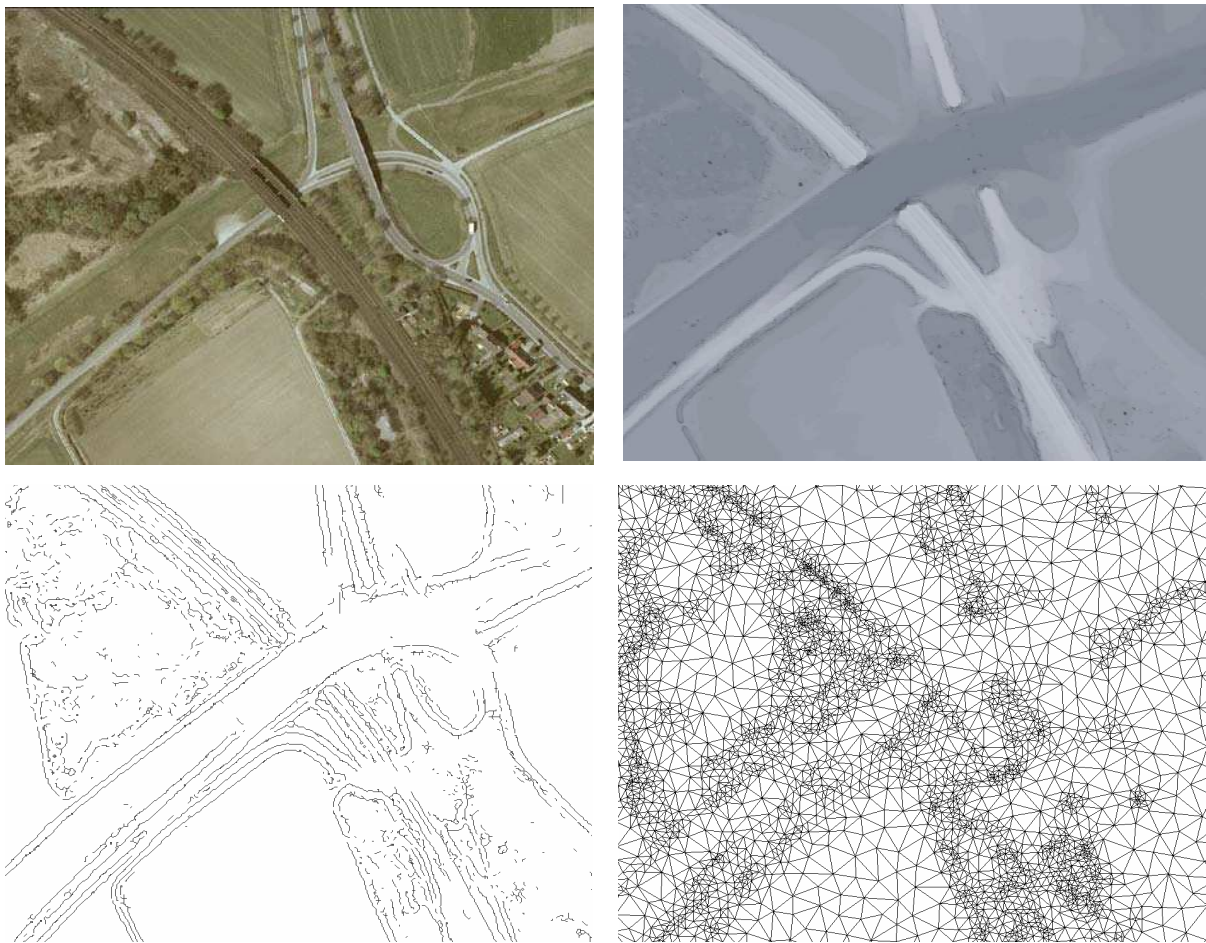


Abbildung 1 Ausschnitt aus dem Projektgebiet bei Donauwörth; oben links: Orthophoto, oben rechts: Schummerungsdarstellung der Original-Laserdaten, unten links: Generierung von bruchkantenähnlichen Objekten, unten rechts: 2D-Berechnungsnetz

Bruchkantenähnliche Strukturen werden mit dem Programm LASER_AS-2D (NUJIĆ, 2005) während des Ausdünnungsprozesses generiert (Abb. 1). Diese Objekte werden - ähnlich wie bei der Photogrammetrie - bei einem ausgeprägten Sohlsprung (Δz) von ca. 0,20 bis 0,40 m (der Wert Δz wird vorgegeben) automatisch erzeugt. In mehreren miteinander verketteten Modulen erfolgt

anschließend eine Nachbearbeitung der erzeugten „*Bruchkanten*“: eine Punkturnverteilung (Vergleichmäßigung) sowie Bereinigung von sich schneidenden oder zu nahe beieinander liegenden Zwangsseiten. Danach wird der Datensatz für die Triangulation vorbereitet. Auf das generierte Netz werden nun die Höhenwerte der Original-Rasterpunkte transformiert. Zum Schluss erfolgt die Integration des bereits zuvor aufbereiteten Flussschlauchnetzes, welches aus den vermessenen Flussprofilen und der Uferlinie erstellt wurde (Kap. 3).

Die zulässige Höhenabweichung der aufgespannten Elementflächen zu den Originalpunkten lässt sich einstellen. Bei einem so definierten Sohlsprung Δz von 0,30 bis 0,40 m entstehen qualitativ sehr hochwertige Berechnungsnetze mit einer mittleren Punktmenge von 10.000-15.000 Punkten/km². Die mittlere Höhenabweichung beträgt abhängig vom Gebiet ca. $\pm \Delta z/4$ bis $\pm \Delta z/3$ (bei $\Delta z = 0,3$ m also 0,075-0,1 m). Ausgeprägte Strukturen wie Deichkronen, Wege und Straßenverläufe werden zudem besonders genau erfasst.

Bei Bedarf besteht die Möglichkeit, zusätzlich terrestrisch aufgenommene Bruchkanten zu Beginn des Ausdünnungsprozesses in das Netz zu integrieren.

3 Integration der Flussquerprofile

Aus den terrestrisch aufgenommenen Flussquerprofilen wird in einem separaten Verfahrensschritt ein Geländemodell erstellt, welches den unterwasserseitigen Bereich abdeckt, der vom luftgestützten Laserscanning nicht erfasst werden kann. Als verbindendes Element fungiert dabei die Uferlinie an beiden Seiten. Entlang der Uferlinie kann durch Interpolation der Querprofile ein Flussschlauch-DGM generiert werden.

Aus den Flussquerprofilen und den Uferlinien werden zuerst sog. rechteckige Patches gebildet, um ein gleichmäßiges Gitternetz zu erhalten. Dabei wird schon ein Seitenverhältnis der Flusselemente von 1:3 berücksichtigt, welches für die Berechnung aus modelltechnischen Gründen idealerweise herangezogen wird. Außerdem werden die Querprofile je nach Breitenausdehnung automatisch verlängert. Nach der Netzgenerierung des Flussschlauches (ohne Höhen) werden die zwischen den Querprofilen interpolierten Höhen der Flusssohle auf das Netz transformiert.

Da das Verfahren weitgehend automatisiert abläuft, können auch mehrere Kilometer Flussstrecke in kurzer Zeit bearbeitet werden.

4 Klassifikation der Landbedeckung zur Rauheitsbelegung

Die Belegung der Rauheiten erfolgt über eine Klassifikation der Landbedeckung nach einem vorgegebenen Objektschlüssel auf Basis von Orthophotos (RGB und CIR; 50 cm Bodenauflösung) aus der Bayernbefliegung (Maßstab 1:12.400, Digitalisiergenauigkeit 1m → entspricht 2,5 Bildpunkten). Der Objektschlüssel wurde für großflächige Projektgebiete gegenüber der bisher üblichen photogrammetrischen Auswertung wesentlich vereinfacht und optimiert.

Übrig geblieben sind 12 Objektklassen (u. a. Acker, Grünland, Wald, Verkehr, versiegelte Flächen, Bebauung), die die Grundlage für die spätere Belegung der Netzelemente mit den Rauheiten bilden. Die Nutzung wird flächendeckend zugeordnet; im Bereich nicht sichtbarer Grenzen wird die Kartierung gemäß dem vermuteten Verlauf ergänzt. Als Orientierungshilfe hat sich die Digitale Flurkarte (DFK) bewährt. Aus der DFK wurden auch die Gebäudegrenzen übernommen, dies bedeutet eine wesentliche Arbeitserleichterung.

Nun ist festzustellen, dass auf der einen Seite eine relativ genaue Abgrenzung der Nutzung erfolgt (Flächenpolygone) und sogar alle Gebäudegrenzen detailgenau erfasst sind. Andererseits ist die Bildung von Netzelementen im wesentlichen von der Geländestruktur abhängig. Im flacheren Gelände werden also eher große Elemente erzeugt, während stark geneigte Flächen viel feinstrukturierter abgebildet werden. Damit nun die Belegung der Rauheiten mit der Netzstruktur und den Netzelementen zusammengeführt werden kann, ist es u. U. notwendig, schon einen Teil der Nutzungsgeometrie in den Ausdünnungsprozess bzw. die Netzgenerierung mit aufzunehmen.

Dieser Schritt dient dazu, die Rauheiten aus der Landbedeckungsklassifikation optimal – entsprechend der Netzgeometrie – auf das Berechnungsnetz zu transformieren. Es bleibt sensitiv zu untersuchen, inwieweit eine gröbere Rauheitsdefinition aufgrund der ursprünglichen Dreiecksvermaschung (TIN) ohne die Nutzungsgeometrie auch zu einem ungenaueren Berechnungsergebnis führte.

Bislang können also - abhängig von der Größe des Gesamtgebietes und der notwendigen Berechnungsgenauigkeit – die wesentlichen Strukturen wie z. B. größere Straßen, alle Nutzungen außerhalb der Bebauung sowie Siedlungsgebiete als Polygonobjekte in den Ausdünnungsprozess miteinbezogen werden. Hierbei ist es möglich, die einzelnen Objekte durch Punkturnverteilung zu vergleichmäßigen, was später auch die Homogenität des Berechnungsnetzes steigert. Als problematisch stellen sich oft die Einzelgebäude aus der DFK dar. Deren exakte Umrisse bewirken lokal eine starke Netzverfeinerung, was dem Ziel einer extremen Ausdünnung natürlich zuwider läuft. Deswegen konzentriert

man sich auf die Gebäude, die wirklich ein Abflusshindernis darstellen bzw. verwendet einen einheitlichen Rauheitsbeiwert jeweils für lockere oder dichtere Bebauung.

5 Pilotprojekt Donau bei Donauwörth

Um die verschiedenen Verfahrensschritte und eine komplette Projektbearbeitung mit der neu entwickelten Methode zu testen und auf Praxistauglichkeit hin zu überprüfen, wurde für das Projektgebiet bei Donauwörth (ca. 90 km nordwestlich von München, Abb. 2) eine knapp 20 km lange Berechnungstrecke der Donau mit einem Überflutungsgebiet von gut 42 km² ausgewählt. Um mit einem mathematisch-numerischen 2d-Modell diese Fläche berechnen zu können, war eine Ausdünnung der Daten (inkl. Flussschlauch und Zuflussgebiete der Nebenflüsse) auf nur noch 1-2 % der ursprünglich ca. 42 Mio. Rasterpunkte notwendig.

In mehreren Versuchsdurchläufen wurde festgestellt, dass ein vorgegebener Sohlsprung von $\Delta z = 0,3$ m und eine Punkturnverteilung von 6 m bis 8 m entlang der generierten Bruchkanten zu einem optimalen Berechnungsnetz führt.

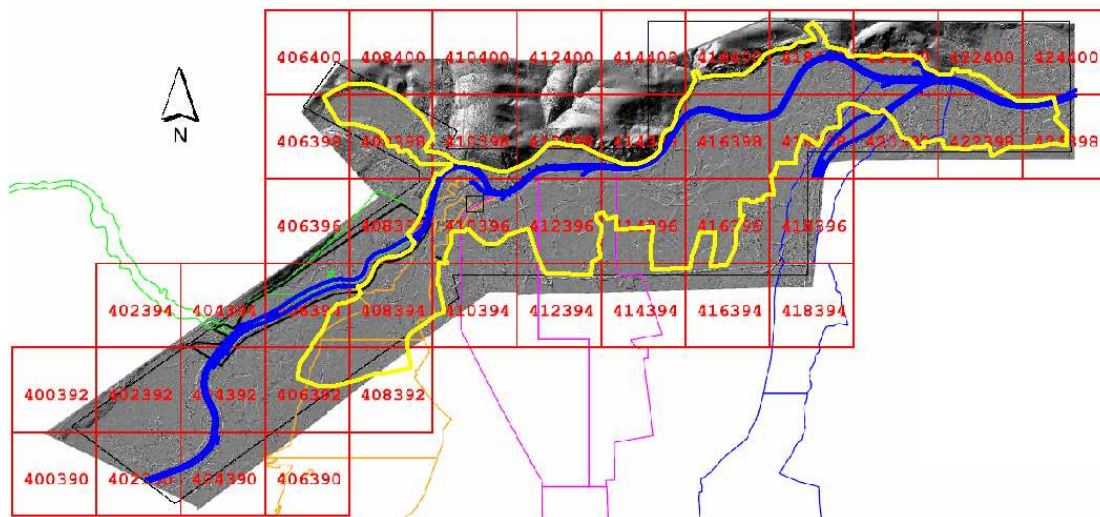


Abbildung 2 Projektgebiet bei Donauwörth; Ausdehnung: 110 km², gelb umrandete Fläche: Überschwemmungsgebiet, ca. 42 km²

Allgemein kommt es, insbesondere an den Geländeböschungen (bei stärker gekrümmten Bruchkanten), zu etwas größeren Abweichungen. Diese können aber in der Regel vernachlässigt werden, da sie nicht abflussrelevant sind. Die

Geländeoberkanten werden hingegen sehr gut abgebildet und weisen nur geringe Abweichungen auf.

Um auch die weniger strukturierte Geländetopographie optimal zu erfassen, kam am Ende des Verarbeitungsprozesses eine spezielle Triangulationssoftware zum Einsatz. Mit dieser lassen sich u. a. die max. Elementgröße (z. B. 200 m²) und der min. innere Winkel der Dreieckselemente bestimmen, was zu einem qualitativ hochwertigen Berechnungsnetz führt.

Erst nach der vollständigen Erstellung des Berechnungsnetzes, welches noch keine komplette Höheninformation besitzt, werden die Höhen der Original-Laserdaten auf das Netz interpoliert.

Neben der Integration der Uferlinien und wesentlichen Nutzungsabgrenzungen können auch einmündende Flussgebiete – wie im vorliegenden Fall – die bereits erstellten Berechnungsnetze (Kessel, Schmutter, Zusan und Lech) über gemeinsame Polygongrenzen eingebunden werden.

Die Berechnung des HQ100 konnte für das Gesamtgebiet von 42 km² auf einem handelsüblichen Rechner mit dem in der Bayer. Wasserwirtschaftsverwaltung eingesetzten 2d-Simulationsprogramm unter Einhaltung der geforderten Netzkriterien innerhalb von 100 h inklusive der vier Zuflussgebiete durchgeführt werden.

6 Ausblick

Zukünftig sollen die einzelnen Verfahrensschritte noch weiter automatisiert werden. Ziel ist es, am Beginn des Ausdünnungsprozesses alle Eingabedaten einzulesen (auszudünnendes Gebiet als Polygonumgriff, Originaldaten, Uferlinien, evtl. vorhandene Bruchkanten) und die entsprechenden Berechnungsparameter (zulässige Höhenabweichung, Wert der Punkumverteilung für die Vergleichmäßigung) zu definieren. Als Ergebnis wird dann das Berechnungsnetz unter Einbeziehung der Triangulationssoftware ausgegeben.

Realisiert wird auch eine wählbare Höhengenaugigkeit, die für verschiedene Bereiche eines Projektgebietes unterschiedliche Auswertungen vornimmt. Dabei werden die jeweiligen Gebiete vorher durch Polygone definiert.

7 Literatur

- Nujić, M.: Möglichkeiten und Grenzen von 2d-Modellen. DWA-Landesverbandstagung. Oktober 2005.
- Briese, C., Attwenger, M.: Modellierung dreidimensionaler hydrologisch und hydraulisch relevanter Geländekanten aus hochauflösenden Laser-Scanner-Daten. „Praxisorientierte und vielseitig nutzbare Fernerkundungseinsätze an der Elbe“, Bundesanstalt für Gewässerkunde, 2005, S. 35 - 45.
- Briese, C.: Breakline Modelling from Airborne Laser Scanner Data. Dissertation, Wien 2004.
- Oberhauser, R. & Rieger, D.: Neue Wege bei der Ermittlung von Überschwemmungsgebieten. Wasserwirtschaft, S. 52 – 56., August 2005.
- Mott, C. & Rücker, G.: Abschlussbericht – Landnutzungsklassifikation mit Orthophotos zur Überschwemmungsmodellierung, unveröffentlicht. Oktober 2005.

Autor:

Dipl.-Ing. (FH) Frank Michel
Bayerisches Landesamt für Umwelt
Dienstgebäude München
Edmund-Rumpler-Str. 7
80939 München
Tel.: ++49 – 89 – 9214-1032
Fax: ++49 – 89 – 9214-1041
frank.michel@lfu.bayern.de

Programm LASER_AS-2D:

Dr.-Ing. Marinko Nujić
Ing.-Büro Dr. Nujić
Wallbergstrasse 8
83026 Rosenheim
Tel.: ++49 – 8031 930 585
Fax.: ++49 – 8031 930 524
ibnujic@aol.com